

数字孪生驱动的工程全生命周期造价透明化管理体系研究

吴建明

神木县隆德矿业有限责任公司 陕西 榆林 719300

摘要：本文旨在研究数字孪生技术驱动工程全生命周期造价透明化管理体系。通过阐述数字孪生技术、工程全生命周期造价管理及造价透明化管理理论，分析数字孪生在工程造价管理中的应用现状与挑战，揭示其驱动造价透明化管理的作用机制。从体系架构、组织人员、制度标准三方面构建管理体系，为提升工程造价管理透明度、实现全生命周期成本最优提供理论与实践路径。

关键词：数字孪生；工程全生命周期；造价透明化管理；体系构建

1 数字孪生与工程全生命周期造价透明化管理的理论基础

1.1 数字孪生技术

数字孪生技术是一种融合了物联网、大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术的创新应用。它以数字化的方式创建物理实体的虚拟镜像，通过实时数据采集与传输，使虚拟模型能够准确映射物理实体在全生命周期中的状态、行为和性能。数字孪生技术的核心在于构建与物理实体高度一致的虚拟模型，该模型不仅包含物理实体的几何、物理属性，还能模拟其不同环境、工况下的运行状态。从技术架构来看，数字孪生系统主要由感知层、网络层、平台层和应用层组成。感知层通过各类传感器、RFID标签等设备，实时采集物理实体的温度、压力、位移等数据；网络层负责将采集到的数据安全、高效地传输至平台层；平台层对数据进行存储、处理和分析，并基于算法构建和更新虚拟模型；应用层则为用户提供可视化界面和决策支持，使管理者能够直观地了解物理实体的运行情况，并做出科学决策。在发展历程中，数字孪生技术起源于航空航天领域，最初用于飞行器的健康管理与故障预测。随着技术的不断成熟，其应用范围逐渐扩展到制造业、建筑业、智慧城市等多个领域。在建筑业中，数字孪生技术可用于建筑的设计优化、施工过程监控、运营维护管理等环节，为行业带来了新的发展机遇。

1.2 工程全生命周期造价管理理论

工程全生命周期造价管理理论是一种从工程项目的早期策划、设计、施工、运营到报废的整个生命周期角度，对工程造价进行全面、系统管理的理论。工程全生命周期造价管理涵盖了多个阶段的具体内容^[1]。在前期策划阶段，需要进行项目可行性和投资估算，对项目的建设规模、建设标准、建设方案等进行综合分析，为项目决策提供依据；设计阶段是工程造价控制的关键环

节，通过优化设计方案、运用价值工程等方法，在保证工程质量和功能的前提下，降低工程造价；施工阶段则需要严格控制工程变更和现场签证，加强对工程进度款支付的管理，确保工程成本在预算范围内；运营阶段要考虑设备的维护成本、能源消耗成本等，通过科学的运营管理降低全生命周期成本。与传统造价管理相比，工程全生命周期造价管理具有显著优势，传统造价管理往往侧重于施工阶段的成本控制，忽视了项目前期策划和后期运营阶段的造价管理，导致项目在建设过程中容易出现预算超支、后期运营成本过高等问题。而全生命周期造价管理则从项目整体出发，统筹考虑各个阶段的成本因素，实现了对工程造价的动态、全过程管理，能够有效提高项目的经济效益和社会效益。

1.3 造价透明化管理的内涵

造价透明化管理是指在工程项目建设过程中，通过建立完善的信息公开机制和数据共享平台，使工程造价相关信息在项目参与各方之间实现透明、准确、及时的传递和共享，确保各方能够全面、真实地了解工程造价的构成、变化情况，从而实现对工程造价的有效监督和控制。造价透明化管理的核心目标是消除信息不对称，提高工程造价管理的公正性、公平性和效率。在传统的工程造价管理模式中，由于信息传递不及时、不透明，项目参与各方之间往往存在信息壁垒，导致决策缺乏科学性，容易出现造价失控、腐败等问题。而造价透明化管理通过将工程造价的各个环节、各项费用进行公开透明展示，使业主、承包商、监理单位、审计部门等能够实时掌握项目成本动态，便于各方进行沟通协调和监督。造价透明化管理涉及到多个方面的内容，包括工程预算、合同价款、工程变更、工程结算等信息的公开。

2 数字孪生在工程造价管理中的应用现状

目前，数字孪生技术在工程造价管理领域已得到

一定程度的应用,但整体仍处于发展阶段。在设计阶段,数字孪生技术可以帮助设计师构建建筑信息模型(BIM),通过对模型进行多方案比选和模拟分析,优化设计方案,降低设计变更带来的成本增加。在施工阶段,数字孪生技术主要应用于施工进度监控和成本控制。通过在施工现场部署传感器,实时采集施工进度、材料使用、设备运行等数据,并传输至数字孪生模型中,管理人员可以直观地了解施工过程中的实际情况,及时发现进度滞后、资源浪费等问题,并采取相应措施进行调整。一些项目还利用数字孪生技术实现对施工安全的智能监控,通过对施工现场的虚拟仿真,提前预测安全风险,降低安全事故发生的概率,从而间接减少因安全事故导致的成本增加^[2]。数字孪生技术在工程造价管理中的应用也面临着诸多挑战。一方面,数字孪生技术的实施需要大量的资金投入,包括传感器、软件系统、硬件设备等方面的购置和维护费用,这对于一些中小型企业来说是一笔不小的负担。另一方面,数字孪生技术涉及到多学科、多领域的知识融合,对专业人才的要求较高,目前市场上既懂工程造价管理又熟悉数字孪生技术的复合型人才相对匮乏,制约了数字孪生技术在工程造价管理中的广泛应用。另外,数据安全和隐私保护也是数字孪生技术应用过程中需要解决的重要问题,大量的工程数据在传输和存储过程中面临着被泄露、篡改的风险。

3 数字孪生驱动造价透明化管理的作用机制与优势

3.1 数据实时采集与传输

数字孪生技术能够实现对工程项目全生命周期数据的实时采集与传输,为造价透明化管理提供了坚实的数据基础。在工程项目建设过程中,通过在施工现场、材料仓库、设备等各个关键节点部署传感器,如温度传感器、压力传感器、位移传感器、RFID标签等,可实时采集工程进度、材料消耗、设备运行状态、人员工作情况等数据。这些数据通过无线网络或有线网络实时传输至数字孪生平台,经过数据清洗、整合和分析后,形成准确、完整的工程数据信息。实时采集与传输的数据能够及时反映工程项目的实际情况,使项目参与各方能够实时掌握工程造价的动态变化。这种数据的实时性和准确性,有助于消除信息滞后和不对称,实现工程造价信息的透明化传递。

3.2 虚拟模型构建与仿真分析

数字孪生技术通过构建与物理实体高度一致的虚拟模型,对工程项目进行仿真分析,为造价透明化管理提供了科学的决策支持。在工程项目建设前期,利用数字孪生技术可以构建项目的三维虚拟模型,结合地理信息系统

(GIS)等技术,对项目的选址、布局、结构设计等进行多方案比选和模拟分析。通过模拟不同方案在建设过程中的成本消耗、工期进度、资源需求等情况,评估各方案的经济性和可行性,从而选择最优方案,从源头上控制工程造价。在项目实施过程中,虚拟模型可以根据实时采集的数据进行动态更新,模拟实际施工过程中的各种情况。另外,还可以利用虚拟模型进行施工模拟演练,提前发现施工过程中可能存在的问题,优化施工工艺和流程,降低施工成本和风险。这种虚拟模型构建与仿真分析的能力,使项目参与各方能够更加清晰地了解工程造价的影响因素和变化趋势,实现造价管理的透明化和科学化。

3.3 协同管理与信息共享

数字孪生平台为工程项目参与各方提供了一个协同管理与信息共享的平台,有助于打破信息壁垒,实现造价透明化管理。在传统的工程项目管理模式,业主、承包商、设计单位、监理单位等各方之间信息传递不畅,沟通协调困难,容易导致信息失真和误解,影响工程造价管理的效率和效果。而基于数字孪生技术的协同管理平台,将各方纳入一个统一的信息系统中,实现了信息的实时共享和交互。项目参与各方可以通过平台实时查看工程项目的数字孪生模型、相关数据和文档资料,了解项目的进展情况和造价动态^[3]。在进行决策时,各方可以基于统一的数据和模型进行协同讨论和分析,提出各自的意见和建议,共同制定最优的解决方案。这种协同管理与信息共享的机制,提高项目参与各方的沟通效率和协同工作能力,实现工程造价管理的透明化和协同化。

4 数字孪生驱动的工程全生命周期透明化管理体系构建

4.1 体系架构设计

数字孪生驱动的工程全生命周期透明化管理体系架构主要包括感知层、网络层、平台层和应用层四个层次。感知层作为数据采集的基础,通过部署各类传感器和智能设备,实现对工程项目全生命周期中物理实体的状态、行为和性能数据的实时采集。这些传感器分布在施工现场的各个角落,包括建筑物的结构、设备、材料、人员等方面,确保能够全面、准确地获取数据。网络层负责将感知层采集到的数据安全、高效地传输至平台层。采用先进的通信技术,如5G、物联网等,构建稳定可靠的网络传输通道,保障数据传输的及时性和准确性。网络层还需要具备数据加密和安全防护功能,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。平台层是整个体系架

构的核心,承担着数据存储、处理、分析和模型构建的重要任务。利用云计算、大数据、人工智能等技术,对采集到的数据进行深度挖掘和分析,构建与物理实体相对应的数字孪生模型,并根据实时数据对模型进行动态更新和优化。平台层还需要建立数据共享机制和接口标准,实现与其他系统的数据交互和集成。应用层为项目参与各方提供了可视化的操作界面和丰富的应用功能。通过应用层,业主可以实时查看项目的整体进度和造价情况,进行投资决策;承包商可以监控施工过程中的成本和资源消耗,优化施工方案;设计单位可以根据实际施工情况对设计方案进行调整和优化;监理单位可以对工程质量和造价进行监督和控制。应用层还可以提供数据分析报告、决策支持等功能,帮助用户更好地进行工程造价管理。

4.2 组织与人员保障

为了确保数字孪生驱动的工程全生命周期透明化管理体系的有效运行,需要建立相应的组织保障和人员保障机制。在组织架构方面,成立专门的数字孪生工程造价管理领导小组,由项目业主、设计单位、施工单位、监理单位等相关方的主要负责人组成,负责统筹协调数字孪生技术在工程造价管理中的应用工作,制定总体发展规划和目标,解决重大问题和矛盾。设立数字孪生技术应用部门,配备专业的技术人员和管理人员,负责数字孪生平台的日常运营和维护,包括数据采集、处理、分析,模型构建和更新,系统功能优化等工作。明确各部门和岗位的职责和权限,建立健全绩效考核机制,确保各项工作能够有序开展。在人员保障方面,加强对专业人才的培养和引进。一方面,通过内部培训、外部培训、学术交流等方式,提高现有人员对数字孪生技术和工程造价管理的综合能力,培养既懂技术又懂管理的复合型人才。另一方面,积极引进具有数字孪生技术、大数据分析、人工智能等专业背景的高端人才,充实人才队伍。

4.3 制度与标准建设

完善的制度与标准是数字孪生驱动的工程全生命周期透明化管理体系顺利实施的重要保障。在制度建设方

面,制定数字孪生技术应用管理制度,明确数字孪生技术在工程造价管理中的应用范围、操作流程、数据管理规范等内容,确保数字孪生技术的应用有章可循^[4]。建立工程造价信息公开制度,规定工程造价相关信息的公开内容、公开方式、公开时间等,保障项目参与各方的知情权和监督权。制定工程变更管理制度,规范工程变更的申请、审批、实施和结算流程,明确工程变更对工程造价的影响评估方法和责任追究机制,防止因工程变更导致造价失控。建立绩效考核制度,对数字孪生技术应用部门和相关人员的工作绩效进行考核,激励员工积极参与数字孪生技术在工程造价管理中的应用工作。在标准建设方面,制定数字孪生模型构建标准,统一数字孪生模型的建模方法、数据格式、精度要求等,确保不同项目、不同参与方之间的数字孪生模型具有兼容性和互操作性。建立工程造价数据标准,规范工程造价数据的采集、存储、传输和共享格式,提高数据的质量和可用性。另外,还需要制定数字孪生平台接口标准,实现数字孪生平台与其他相关系统的无缝对接和数据交互,促进工程项目管理的信息化和集成化发展。

结束语

数字孪生驱动的工程全生命周期造价透明化管理体系,打破信息壁垒,提升管理效率与科学性,对工程行业降本增效意义重大。然而技术应用仍面临资金、人才与安全等挑战。未来,需持续优化体系,加强技术研发与人才培养,完善制度标准,推动数字孪生技术在工程造价管理领域深度应用,助力行业高质量发展。

参考文献

- [1]苗田,张旭,熊辉,等.数字孪生技术在产品生命周期中的应用与展望[J].计算机集成制造系统,2019,25(6):1546-1558.
- [2]王少平.基于数字孪生技术的塔吊全生命周期管理[J].机电产品开发与创新,2024,37(2):214-216.
- [3]李娟.BIM技术和数字孪生技术在建筑工程中的应用特征及问题分析[J].四川水泥,2024(9):55-57.
- [4]杨璇,李新颖.数字孪生技术在装配式建筑设计与施工过程中的应用研究[J].住宅与房地产,2024(2):27-29.